临床研究

多参数动脉自旋标记与动态磁敏感增强脑灌注成像在诊断短暂性脑缺血性发作中的对比

许 洋[1,2],吕晋浩[1],马 林[1],陈为军[2],娄 昕[1]

[1]中国人民解放军总医院放射科,北京 100853;[2]中国人民解放军252医院放射科,河北 保定 071000

摘要:目的 比较多参数三维假连续式动脉自旋标记灌注成像(3D pCASL)与动态磁敏感增强灌注成像(DSC PWI)对短暂性脑缺血发作(TIA)责任病灶的检出率。**方法** 比较39例临床诊断TIA患者,并在首次发作24 h内进行磁共振检查。扫描序列包括常规头颅MR成像、MRA(MRA),DWI、3D pCASL(选取两个标记延迟时间post-labeling time, PLD, PLD=1.5 s及PLD=2.5 s),DSC PWI。后处理获取3D pCASL的脑血流(CBF)图像和DSC PWI 的Tmax图像。比较不同灌注方法与MRA及DWI结合法对于缺血病灶检出率和缺血面积。**结果** TIA患者的缺血病灶检出率,3D pCASL(PLD1.5 s及PLD2.5 s)的CBF图像与DSC PWI Tmax对比无差异;3D pCASL(PLD1.5 s)的CBF图像对于缺血的检出率高于MRA结合DWI法;DSC PWI Tmax、3D pCASL(PLD2.5 s)CBF与MRA结合DWI法无差异。显示低灌注面积,3D pCASL(PLD1.5 s)的CBF图像显示的面积最大,其次是DSC PWI Tmax,而3D pCASL(PLD2.5 s)的CBF图像显示的低灌注面积最小。**结论** 3D pCASL脑灌注成像技术无创、快速、可重复性强,推荐作为临床可疑TIA患者的影像筛查手段,不同PLD的3D pCASL序列对于病灶的检出及缺血面积的显示有差异,选择较短PLD有可能提高病灶的检出率。

关键词:短暂性脑缺血发作;动脉自旋标记;动态磁敏感加权灌注成像;三维假连续式动脉自旋标记灌注成像

Multi-parameter arterial spin labeling versus dynamic magnetic-sensitive enhanced cerebral perfusion imaging for diagnosis of transient cerebral ischemic attack

XU Yang[1,2], LÜ Jinhao[1], MA Lin[1], CHEN Weijun[2], LOU Xin[1]

[1]Department of Radiology, General Hospital of PLA, Beijing 100853, China; [2]Department of Radiology, 252 Hospital of PLA, Baoding 071000, China

Abstract: Objective To evaluate the clinical value of three-dimensional pseudo-continuous arterial spin labeling (3D pCASL) perfusion magnetic resonance imaging (MRI) and dynamic susceptibility contrast (DSC) enhanced perfusion MRI in the diagnosis of transient ischemic attack (TIA). **Methods** Thirty-nine consecutive patients with suspected TIA underwent multi-modal MRI scans including DSC, magnetic resonance angiography (MRA), diffusion-weighted imaging (DWI) and 3D pCASL (post-labeling delay, PLD=1.5 s and 2.5 s) within 24 h of symptom onset. Cerebral blood flow (CBF) from ASL and the time to the maximum of tissue residual function (Tmax) map from DSC were calculated using AW workstation. DWI and MRA were applied to detect acute cerebral infarction and intracranial artery stenosis. Two neuroradilogists who were blinded to the patients' clinical data assessed the presence of perfusion deficit, ischemic lesion and the lesion sites both from 1.5 s, 2.5 s PLD ASL-CBF and DSC-Tmax independently, and then graded them. The differences in the ranking grades between 1.5 s, 2.5 s PLD ASL and DSC were analyzed, and the frequency of lesion detection was compared between ASL-CBF, Tmax and MRA combining DWI method. **Results** No significant differences was found in hypoperfusion grades detected by 3D pCASL (including PLD1.5 s and 2.5 s) CBF and Tmax maps, while significant differences were detected between 1.5 s PLD ASL-CBF and MRA combining DWI method; ASL with PLD 1.5 s CBF detected ischemic lesions and lesion site significantly more frequently than MRA combining DWI method. **Conclusions** Three dimensional pCASL is a non-invasive perfusion method free of radiation exposure, and short PLD ASL is more sensitive than long PLD ASL for detecting ischemic lesions and lesion sites.

Key words: transient ischemic attack; arterial spin labeling; dynamic susceptibility contrast enhanced perfusion-weight imaging; three-dimensional pseudo-continuous arterial spin labeling

短暂性脑缺血发作(transient ischemic attack, TIA)患者的诊断既往依赖于临床ABCD2评分。随着循证医学发展,磁共振脑灌注成像可以有效的反映患者颅内灌注减低情况。目前,磁共振的主要灌注手段分为两种:(1)临床广泛使用的动态磁敏感增强灌注成像(DSC PWI),可以多参数的反映颅内血流动力学的改

收稿日期:2015-11-24

基金项目:国家自然科学基金(81101034)

Supported by National Natural Science Foundation of China (81101034).

作者简介:许 洋,硕士研究生,主治医师,E-mail: xuyang301311@163.com

通信作者:娄 昕,博士,主任医师,E-mail: xinlou301@sina.com

变;(2)动脉自旋标记灌注成像(arterial spin labeling, ASL)。基于ASL技术发展而来的三维假连续式动脉自旋标记灌注成像(3D pCASL)技术由于具有较好的信噪比、且成像质量稳定,成为当前研究的热点。研究表明[1],3D pCASL易受动脉到达时间(ATT)的影响,从而导致灌注情况的误判。3D pCASL以及DSC PWI对于TIA患者的诊断价值有无差异目前尚不明确[2-6]。本研究回顾性分析了39例临床诊断为TIA患者的3D pCASL与DSC PWI灌注情况,比较了3D pCASL所获取的CBF图像和DSC PWI的Tmax图像以及两种灌注方式与传统的MRA结合DWI方法对缺血病灶的检出能力。

1 材料和方法

1.1 患者纳入

经医院医学伦理委员会批准,连续纳入2013年9月~2014年12月在我院临床诊断为TIA患者并行磁共振检查患者,纳入标准如下:(1)临床出现TIA症状及体征;(2)患者前期无大面积脑梗死、肿瘤及手术病史;(3)患者自出现TIA症状到进行磁共振检查不超过24 h;(4)患者无磁共振检查禁忌症;(5)DWI高信号对应功能区与临床症状相符,考虑为脑梗死患者除外。

1.2 磁共振检查

所有患者采用GE 3.0T (DISCOVERY MR 750, GE Healthcare)磁共振扫描, 32通道头线圈。扫描序列包括:三维血管成像(MRA)、DWI、液体反转恢复扫描(FLAIR)、DSC PWI和3D pCASL脑灌注成像。具体参数如下:MRA(TR=34 ms, TE=3.1 ms, FOV=24 cm, matrix=512×128,层厚 1 mm);3D pCASL(TR=4590/PLD=1.5 s,5285 ms /PLD=2.5 s,TE=10.5 ms,FOV=24 cm,层厚=4.0 mm,层数=36,NEX=2);DSC PWI(TR=1500,TE=16.7,回波链=1,带宽为250 KHZ,FOV=24 cm×24 cm,层厚=4.0 mm,层数=36,扫描开始及结束位置对应ASL序列位置及层面,保持DSC与3D pCASL做到同层面扫描)。总扫描时间约35 min。

1.3 图像处理及分析

使用GE (AW 4.5工作站, GE Healthcare) Function Tool软件中自带3D pCASL后处理软件,选择阈值后分别生成PLD=1.5 s及PLD=2.5 s脑血流量伪彩图像,通过伪彩图像阈值选取CBF<23 mL/100 g/min认为低灌注区域[7]。DSC PWI图像通过Function Tool软件中自动选择动脉输入函数(Arterial input function AIF)处理,生成Tmax伪彩图,选取Tmax>6 s[8]为低灌注区域。

将3D pCASL的CBF图像和DSC PWI的Tmax图像及DWI、MRA图像分别提供给两名资深放射科主治医师(从事影像诊断8年以上,从事MR诊断5年以上)进行判读,对于3D pCASL(PLD=1.5 s及PLD=2.5 s)的CBF图像和DSC PWI的Tmax图像低灌注检出率采用是或否评价;对于DWI联合MRA图像组,MRA显示狭窄认为存在低灌注,对于判断有分歧患者重新协商后决定。

对于DSC PWI的Tmax图像及3D pCASL(PLD=1.5,PLD=2.5)图像低灌注面积判断根据Adamas分类法[9],以梗死面积最大层面超过3 cm^2为准则,低灌注最大面积大于3 cm^2为大面积缺血区评2分,小于及等于3 cm^2则为小面积评1分,无低灌注评0分。

1.4 统计方法

使用SPSS17.0统计软件对于同一灌注方法两名医生分别两次判断检出率结果进行组内相关系数分析(ICC),以检验水准α=0.05水平,ICC大于0.8认为可重复性好。然后将两名医生使用同一灌注方法对TIA患者检出率评分,对于分歧患者共同协商后判断,对ASL(PLD=1.5,PLD=2.5)及DSC与DWI及MRA联合方法的低灌注检出率进行pearson卡方检验,以α=0.05为检验水准;不同灌注缺血面积的评分判断分别进行秩和检验,以α=0.05为检验水准。

2 结果

2.1 临床一般性结果

共纳入39名TIA患者(平均年龄59.3岁,男性17名)。根据2009年美国卒中协会(ASA)临床诊断标准,TIA临床症状发作后最早7 h,最迟24 h进行磁共振扫描,DWI检出梗死灶6例,MRA显示颅内动脉中重度狭窄患者28例,共34处狭窄左侧大脑中动脉10例,右侧大脑中动脉13例,基底动脉9例(其中1例基底动脉夹层动脉瘤),左颈内动脉闭塞2例,右侧颈内动脉闭塞1例,其中累及两条颅内动脉狭窄患者6例。DWI与MRA均为阳性病例5例,1例基底节区腔隙性梗死患者DWI上可见高信号,但无明显颅内动脉狭窄。

2.2 脑灌注成像判读结果及可重复性结果

2.2.1 不同灌注方法脑灌注成像检出率的判断及可重复性 33例临床诊断DWI阴性TIA患者,两名医生共同判定3D pCASL(PLD=1.5 s)显示低灌注31例,无低灌注2例,意见分歧0例。共同判定3D pCASL(PLD=2.5 s)低灌注25例无低灌注7例,意见分歧1例。共同判定DSC PWI Tmax低灌注28例,无低灌注4例,意见分歧1例。

两名医生双盲判断结果采用ICC进行一致性检验,其中3D pCASL(PLD=1.5 s)灌注方式检出率判读的ICC=1, 3D pCASL(PLD=2.5 s)灌注方式ICC=0.951(F=20.50, P<0.001),DSC PWI Tmax的ICC=0.933(F=15.31, P<0.001),说明双盲判读法检测同一种灌注方法TIA低灌注的检出有较好的可重复性。

2.2.2 不同灌注方法对于脑灌注缺血面积的判断及可重复性研究 对于同一灌注方法缺血面积的两名医生评

分进行ICC检验,3D pCASL(PLD=1.5 s)低灌注面积两组医生评分ICC=0.815(*F*=5.419,*P*<0.001),3D pCASL(PLD=2.5 s)低灌注面积两组医生评分ICC=0.846(*F*=6.510,*P*<0.001)。DSC PWI Tmax灌注减低面积两组医生评分ICC=0.709(*F*=3.442,*P*<0.001)。统计说明双盲评分法对于同一灌注方法缺血面积评分有较好的一致性。

2.3 不同灌注方法对于TIA患者低灌注检出率的比较

33例DWI阴性临床诊断TIA患者,3D pCASL(PLD=1.5 s)与DSC PWI Tmax对于TIA检出率无统计学意义(*P*=0.5);3D pCASL (PLD=2.5 s)与DSC PWI Tmax对于TIA检出率无明显统计学意义(*P*=0.169);对于3D pCASL (PLD=1.5 s)与3D pCASL (PLD=2.5 s),两种PLD时间的3D pCASL对TIA患者病灶的检出率无统计学意义(*P*=0.093),3D pCASL (PLD=1.5 s)与DWI联合MRA法检出率有统计学意义(*P*=0.03,图1),3D pCASL(PLD=2.5 s)及DSC PWI Tmax与DWI联合MRA法检出率均无统计学意义(*P*均>0.05,图2)。

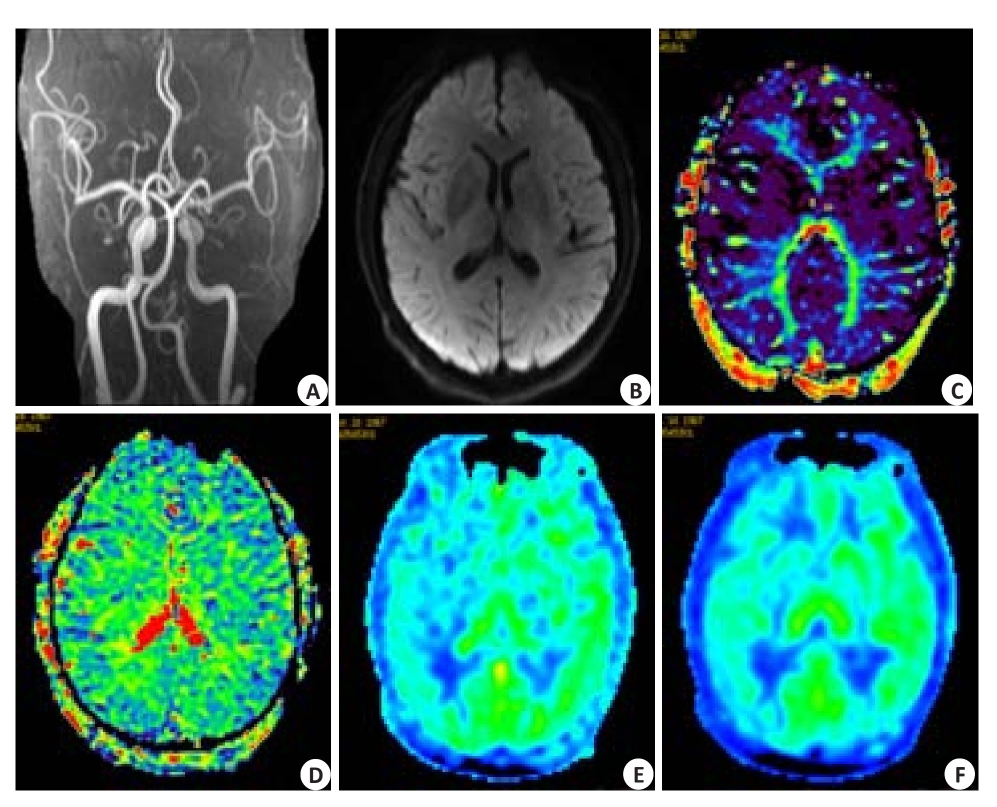


图1 无颅内动脉狭窄患者不同灌注方法对于显示低灌注区域的显示

Fig.1 Hypoperfusion region in a patient without intracranial artery stenosis shown with different perfusion methods. *A*: MRA image showing no stenosis; *B*: DWI showing no hyperintensity; *C*: DSC Tmax image showing no hypoperfusion; *D*: MTT image showing hypoperfusion region located in the right temporal lobe; *E*: 3D pCASL PLD=1.5 s CBF showing hypoperfusion region in the right temporal lobe; *F*: 3D pCASL PLD=2.5 s CBF image showing the hypoperfusion region in the right temporal lobe, which was smaller than that shown on PLD1.5 s image.

2.4 不同灌注方法对于TIA患者低灌注面积的比较

33例DWI阴性TIA患者的3D pCASL(PLD=1.5 s、PLD=2.5 s)CBF图像及DSC PWI Tmax图像缺血面积评分进行配对资料的秩和检验,结果显示3D pCASL(PLD=1.5 s)CBF低灌注面积大于DSC PWI Tmax图像低灌注面积(Z=-3.579,*P*=0.001,图3、4)。3D pCASL(PLD=2.5 s)CBF低灌注面积小于DSC PWI Tmax低灌注面积(Z=-3.473, *P*=0.001)。3D pCASL (PLD=2.5 s)CBF低灌注面积小于3D pCASL (PLD=1.5 s) CBF低灌注面积,(Z=-4.584,*P*<0.001)。按α=0.05水准说明上述灌注方法差异有统计学意义(图5)。

3 讨论

缺血性脑血管病中约40%短暂性脑缺血发作(Transient ischemic attack, TIA)患者最终发展为脑卒中,而对TIA患者进行干预治疗后,再发卒中发病率可下降约80%[10-11]。但由于缺乏诊断依据,大约25%~50%可疑TIA发作患者最终诊断为无缺血病例[12],但随着时

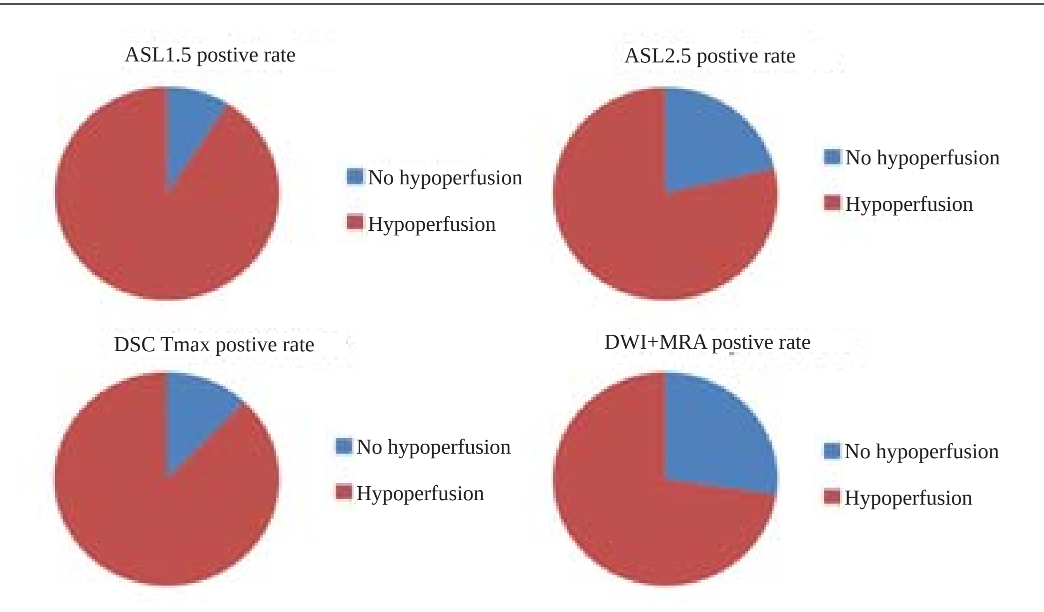


图2 TIA患者不同灌注方法对于TIA低灌注的检出率构成比

Fig.2 Positive rate constituent ratio of the patient with TIA using different perfusion methods.

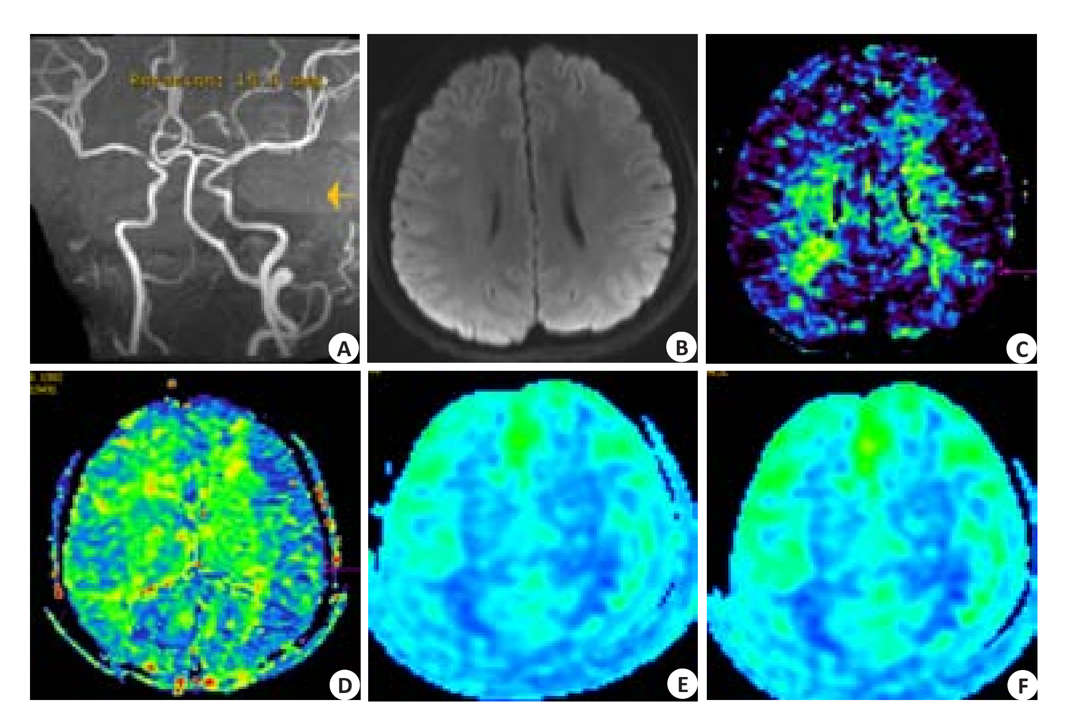


图3 颅内动脉重度狭窄患者不同灌注方法对于低灌注的显示

Fig.3 Hypoperfusion region in a patient with severe intracranial artery stenosis shown by different perfusion methods. *A*: M1 segment of the right MCA showing stenosis; *B*: DWI showing no hyperintensity; *C*: DSCTmax image showing hypoperfusion in the periventricular white matter; *D*: MTT image showing hyperintensity; *E, F*: 3D pCASL (PLD=1.5 s) CBF images consistently showing a region on the image of 3D pCASL (PLD=2.5 s) and the image of DSCTmax.

间推移大约1/3TIA患者出现脑缺血损害，可有对应部位脑梗死[13]，因此更加突出了TIA患者早期影像诊断支持的重要性。2002年及2009年美国卒中协会(ASA)两次修改诊断标准，提出有无脑组织梗死作为TIA与脑梗死唯一的鉴别诊断，并提出了“急性神经血管综合症”概念，适用于缺血症状在短期内缓解还是进展尚判断不明的患者[14]。2011年我国推出了“短暂性脑缺血发作的专家共识”，提倡使用神经影像学手段进行TIA的诊断[15]，观察有无神经组织的损伤，并以此作为与脑梗死的重要鉴别指标。在过去的临床工作中，对于DWI阳性临床可疑TIA患者，称为DWI阳性TIA患者，但是通过对于TIA新定义的解读，我们认为DWI阳性说明细胞水肿，细

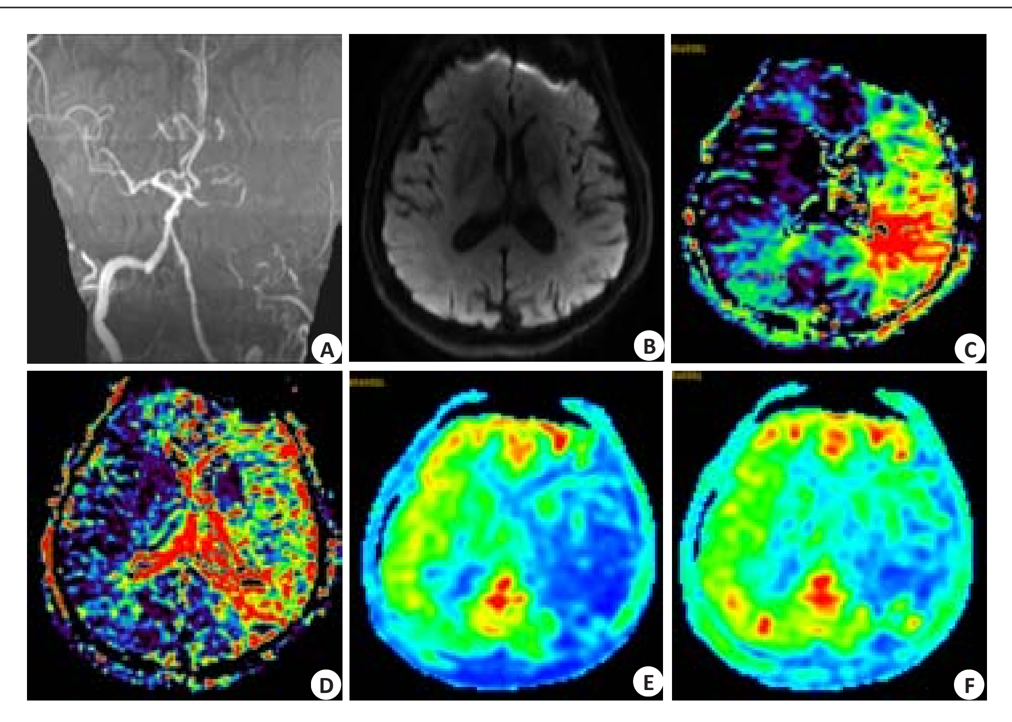


图4 单侧颈内动脉闭塞患者使用不同灌注手段对于低灌注区域的显示

Fig.4 Hypoperfusion region in a patient with unliateral internal carotid artery occlusion shown with different perfusion methods. *A*:MRA image showing left inernal carotid artery occlusion; *B*: DWI showing no hyperintensity; *C, D*: DSCTmax and MTT image showing hypoperfusion; *E*: 3D pCASL (PLD=1.5 s) CBF image showing the region of hypoperfusion, which was slightly bigger than that shown by DSC Tmax and DSC MTT; *F*: 3D pCASL (PLD=2.5 s) CBF image showing consistently a region of hypoperfusion on DSCTmax image and DSC MTT image, but slightly smaller than that on the image of 3D pCASL (PLD=1.5 s) CBF.

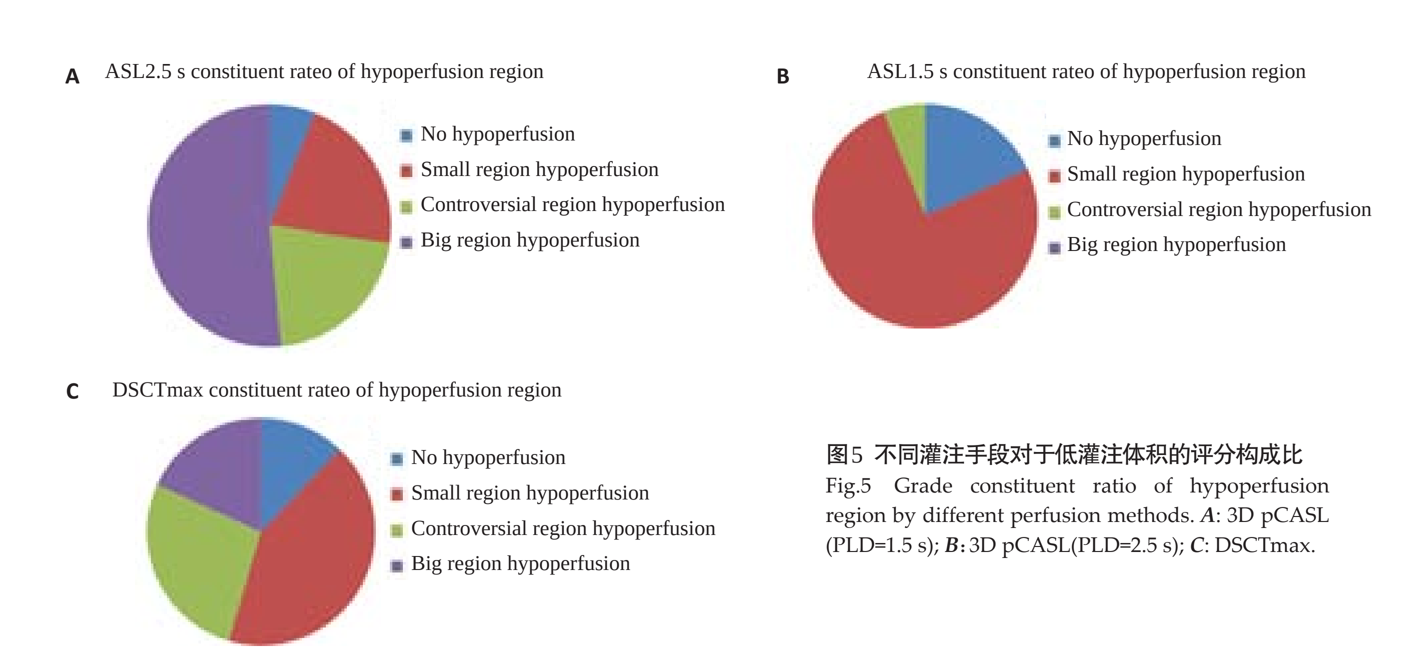


图5 不同灌注手段对于低灌注体积的评分构成比

Fig.5 Grade constituent ratio of hypoperfusion region by different perfusion methods. *A*: 3D pCASL (PLD=1.5 s); *B*: 3D pCASL(PLD=2.5 s); *C*: DSCTmax.

胞膜上钠钾ATP泵衰竭,颅内缺血进入"瀑布效应"的梗死前期或梗死期[16]。既往文献明确提出DWI阳性与TIA发作时间呈正相关,而DWI阳性TIA患者90 d内中风的几率远高于DWI阴性患者[17],可能因为随着缺血时间的延长,细胞水肿增加,细胞膜上钠钾ATP泵衰竭,导致组织不可逆转的缺血坏死。所以新的TIA定义加重了神经影像学的诊断权重,认为DWI高信号区域如果是临床症状责任区则认定为脑梗死,所以本组研究将6例DWI阳性患者排除,仅分析了DWI阴性的TIA患者。

临床工作中,对于TIA患者多采用DWI与头颅MRA相结合的方法辅助临床诊断,然而这种方式存在很大的漏洞。首先部分TIA患者无明显动脉狭窄,通常为一过性血管痉挛或者心源性及血管源性的微栓子脱落,造成神经缺血症状,在本组研究中10例患者无明显

颅内血管狭窄，却出现了临床TIA症状，同时10例患者中9例DSC PWI及3D pCASL图像中检出低灌注区域，说明使用MRA是否狭窄评估TIA患者是否存在低灌注可能明显低估。同时"共识"认为TIA发作的频率与程度与脑梗死发生率呈正相关，所以对于TIA患者缺血程度范围的评估成为判断预后及选择治疗手段的重要指征。而灌注成像可以有效显示患者低灌注范围，特别是对于非动脉血管狭窄的TIA患者往往DWI及MRA检查为阴性[18]，灌注成像成为唯一可以提供脑缺血证据的手段，可以有效鉴别其他非血管源性引起的一过性神经功能障碍。本组患者对于检出率对比中显示长PLD(2.5 s)时间的3D pCASL及DSC PWI Tmax与传统DWI联合MRA法无统计学差异，而短PLD时间(1.5 s)对于TIA低灌注的检出率高于DWI联合MRA法，有统计学意义，与MacIntosh等[19-20]采用多PLD[500~2500 ms]方法发现PLD时间越短则对于脑缺血检出的敏感性越高，而PLD时间越长则对于脑缺血检出的特异性越高的结论一致，同时我们发现在10例颅内动脉无狭窄的患者3D pCASL检查中，PLD=1.5 s检出9例，而PLD=2.5 s仅检出4例，其构成比远高于动脉狭窄的TIA患者，但本研究无狭窄组患者病例数较少，有待于进一步充实病例，论证本结论。其原因可能与Zaharchuk[4]提出ASL短PLD时间对于早期脑缺血时慢血流探测不良而产生的低灌注放大效应有关。

目前临床运用最广泛的灌注成像为DSC PWI，其对于TIA发作的患者诊断有比较高的价值。通过AIF算法可以获得Tmax图像的参数，因为rCBF为半定量指标，且在缺血早期受CBV代偿性增高，MTT延迟，而使rCBF变化延后，所以在早期急性脑缺血中Tmax成为常用的低灌注指标得到了当前的广泛认可[7, 21-22]，但是DSC灌注需要引入外源性对比剂，同时DSC灌注容易受血脑屏障(Blood-brain barrier, BBB)的对比剂渗透性影响，而TIA发作病人，尤其是血管狭窄的TIA患者血脑屏障的异常并不少见[23]。随着目前磁共振技术的发展，动脉自旋标记灌注成像成为发展趋势。本研究显示两种PLD(PLD=1.5 s、2.5 s)时间的3D pCASL与DSC PWI Tmax对于TIA低灌注检出率无统计学意义，而3DpCASL可定量测量CBF值，且无需使用外源性对比剂，为TIA患者良好的可重复性检查方法[24-25]。

然而相比于DSC的多参数成像，3D pCASL有其不足之处，其中ATT与PLD匹配程度越高则越接近与生理状态下CBF值。而当前PLD为固定参数，TIA患者无论是否血管狭窄都有血流动力学的改变，也就是ATT延迟且ATT为个体化变量，而相对ATT较短的PLD时间可能造成血液内标记信号的丢失，虽然有利于提高缺血检出率，但是有可能过度估计缺血面积，本研究显示低灌注面积其显示上为3D pCASL(PLD=1.5 s) CBF>DSC PWI Tmax>3D pCASL(PLD=2.5 s)CBF。原理可能为缺血早期短PLD的3D pCASL由于ATT延迟，造成了CBF显示面积及程度的夸大其可能与MTT等代表时间参数成像具的低灌注范围有一致性，尤其在无明显血管重度狭窄及闭塞的TIA患者中相对于DSC Tmax更加敏感。3D pCASL(PLD=1.5 s)较DSC增大的低灌注区域应当是介于正常灌注与缺血半暗带之间的区域，被称为良好血供减少区[26]，评估该区域的大小同样具有重要临床价值，因为其可能仅仅处于脑灌注压(Cerebral perfusion pressure, CPP)减低的第一期也就是循环储备力代偿期，及时的进行对症治疗应当可以彻底纠正。当灌注压进一步降低，也就是重度缺血期或梗死前期。当灌注进一步减低，循环储备力耗尽后通过动员代谢储备力，提高氧利用率，则会出现线粒体的变性，该期通常伴有明显的血管狭窄和闭塞，造成ATT时间的极度延迟。有研究表明对于老年患者及颅内动脉长期狭窄的患者3D pCASL(PLD=2.5 s)更加能够反映灌注减低的真实情况[27]，这与我们在研究中发现血管重度狭窄患者两个PLD的3D pCASL低灌注面积基本一致或PLD2.5 s略小于PLD1.5 s低灌注范围的观察结果相符。在重度狭窄患者中3D pCASL CBF(PLD=2.5 s)低灌注范围与DSCTmax、MTT一致性较好可能与重度狭窄患者侧枝循环建立后，短PLD时间无法探测侧枝循环的前向血流有关。综上所述对于不同程度血管狭窄的TIA患者PLD时间的选择在3D pCASL灌注对于检查率和缺血面积判断的指导中非常重要，短PLD时间更加推荐使用在无血管狭窄患者中，而长PLD时间对于重度狭窄的TIA患者低灌注面积的判断与DSCPWI一致性更好。同时DSC的参数选择对于低灌注的检出也有直接的影响，对于无明显血管狭窄患者，MTT较Tmax在TIA患者低灌注检出方面可能更加敏感，而Tmax对于血管重度狭窄或闭塞患者检查率及缺血面积的显示均优于MTT，所以应当在TIA患者的发挥DSC检查多参数的优势增加检查的敏感性与特异性。

由于病例数有限无法将患者分为血管狭窄组及非血管狭窄组进行对照研究。同时本研究对于动脉狭窄病例主要排除手段为颅脑MRA检查，对于有可能出现的颈内动脉颅外段的斑块及狭窄未能有效排除，从而低估DWI联合MRA诊断检出率。最后需要说明当前3D pCASL(PLD=1.5 s)及DSC Tmax多进行低灌注容积定量分析，当前3D pCASL(PLD=1.5 s)使用SPM8.0软件进行运动校正和脑叶测量成为主流选择，缺血容积的评估较缺血面积的评估更为合理，但DSC低灌注容积定量测量软件为商用软件，使用成本较高，期望可一步找到合适软件进行完善。

3D pCASL脑灌注成像技术无创、快速、可重复性强,推荐作为临床可疑TIA患者的影像筛查手段,选择较短PLD有可能提高病灶的检出率。针对不同程度的血管狭窄患者,PLD时间的选择对于缺血面积的显示具有重大的意义。无动脉狭窄患者选择短PLD时间可提高检查敏感性,对于重度动脉狭窄TIA患者,长PLD时间在显示重度狭窄及血管闭塞患者时与DSC一致性更好,可能反映了患者侧枝循环情况(需进一步试验验证)。DSC作为多参数灌注手段应当联合MTT与Tmax提高TIA患者的检出率。

参考文献:

[1] Yun TJ, Sohn CH, Han MH, et al. Effect of delayed transit time on arterial spin labeling: correlation with dynamic susceptibility contrast perfusion magnetic resonance in moyamoya disease [J]. Invest Radiol, 2013, 48(11): 795-802.

[2] 初国新, 衣 闯, 方 昊, 等. 3D-ASL动脉自旋标记灌注技术及MRA联合应用在脑缺血疾病影像诊断价值[J]. 中国实验诊断学, 2013(6): 1136-7.

[3] Chen J, Licht DJ, Smith SE, et al. Arterial spin labeling perfusion MRI in pediatric arterial ischemic stroke: initial experiences[J]. J Magn Reson Imaging, 2009, 29(2): 282-90.

[4] Zaharchuk G. Arterial spin label imaging of acute ischemic stroke and transient ischemic attack[J]. Neuroimaging Clin N Am, 2011, 21(2): 285-301, x.

[5] Viallon M, Altrichter S, Pereira VM, et al. Combined use of pulsed arterial spin-labeling and susceptibility-weighted imaging in stroke at 3T[J]. Eur Neurol, 2010, 64(5): 286-96.

[6] Chalela JA, Alsop DC, Gonzalez-Atavales JB, et al. Magnetic resonance perfusion imaging in acute ischemic stroke using continuous arterial spin labeling[J]. Stroke, 2000, 31(3): 680-7.

[7] 陈星荣, 沈天真. 脑梗死的影像学[J]. 中国医学计算机成像杂志, 2000(1): 2-36.

[8] Olivot JM, Mlynash M, Thijs VN, et al. Optimal Tmax threshold for predicting penumbral tissue in acute stroke[J]. Stroke, 2009, 40(2): 469-75.

[9] Adams HP, Bendixen BH, Kappelle LJ, et al. Classification of subtype of acute ischemic stroke. Definitions for use in a multicenter clinical trial. TOAST. Trial of Org 10172 in Acute Stroke Treatment[J]. Stroke, 1993, 24(1): 35-41.

[10] Rothwell PM, Giles MF, Chandratheva A, et al. Effect of urgent treatment of transient ischaemic attack and minor stroke on early recurrent stroke (Express study): a prospective population-based sequential comparison[J]. Lancet, 2007, 370(9596): 1432-42.

[11] Lavallée PC, Meseguer E, Abboud H, et al. A transient ischaemic attack clinic with round-the-clock access (SOS-TIA): feasibility and effects[J]. Lancet Neurol, 2007, 6(11): 953-60.

[12] Olivot JM, Wolford C, Castle J, et al. Two aces: transient ischemic attack work-up as outpatient assessment of clinical evaluation and safety[J]. Stroke, 2011, 42(7): 1839-43.

[13] Evans GW, Howard G, Murros KE, et al. Cerebral infarction verified by cranial computed tomography and prognosis for survival following transient ischemic attack[J]. Stroke, 1991, 22(4): 431-6.

[14] Easton JD, Saver JL, Albers GW, et al. Definition and evaluation of transient ischemic attack: a scientific statement for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association Stroke Council; Council on Cardiovascular Surgery and Anesthesia; Council on Cardiovascular Radiology and Intervention; Council on Cardiovascular Nursing; and the Interdisciplinary Council on Peripheral Vascular Disease[J]. Stroke, 2009, 40(6): 2276-93.

[15] 王伊龙. 短暂性脑缺血发作的中国专家共识[J]. 中华内科杂志, 2007(10): 883-5.

[16] 王建利, 谢敬霞. MR灌注及扩散成像在脑血液动力学与急性脑缺血病理生理研究中的应用[J]. 中华放射学杂志, 1998(6): 10-4.

[17] Coutts SB, Simon JE, Eliasziw M, et al. Triaging transient ischemic attack and minor stroke patients using acute magnetic resonance imaging[J]. Ann Neurol, 2005, 57(6): 848-54.

[18] Giles MF, Albers GW, Amarenco P, et al. Early stroke risk and ABCD2 score performance in tissue- *vs* time-defined TIA: a multicenter study[J]. Neurology, 2011, 77(13): 1222-8.

[19] Macintosh BJ, Lindsay AC, Kylintireas I, et al. Multiple inflow pulsed arterial spin-labeling reveals delays in the arterial arrival time in minor stroke and transient ischemic attack[J]. AJNR Am J Neuroradiol, 2010, 31(10): 1892-4.

[20] Wang R, Yu S, Alger JR, et al. Multi-delay arterial spin labeling perfusion MRI in moyamoya disease--comparison with CT perfusion imaging[J]. Eur Radiol, 2014, 24(5): 1135-44.

[21] Kidwell CS, Saver JL, Mattiello J, et al. Thrombolytic reversal of acute human cerebral ischemic injury shown by diffusion/perfusion magnetic resonance imaging[J]. Ann Neurol, 2000, 47(4): 462-9.

[22] Akazawa K, Yamada K, Matsushima S, et al. Is it possible to define salvageable ischemic penumbra using semiquantitative rCBF levels derived from Mr perfusion-weighted imaging? [J]. Neuroradiology, 2008, 50(11): 939-45.

[23] Wang DJ, Alger JR, Qiao JX, et al. The value of arterial spin-labeled perfusion imaging in acute ischemic stroke: comparison with dynamic susceptibility contrast-enhanced MRI [J]. Stroke, 2012, 43(4): 1018-24.

[24] Wu B, Lou X, Wu X, et al. Intra- and interscanner reliability and reproducibility of 3D whole-brain pseudo-continuous arterial spin-labeling Mr perfusion at 3T[J]. J Magn Reson Imaging, 2014, 39(2): 402-9.

[25] 张莲红, 温仲民, 包仕尧. ABCD2-I与ABCD3-I评分法预测短暂性脑缺血发作后近期发生脑卒中风险的临床价值比较[J]. 中国临床神经科学, 2013(5): 519-26.

[26] Bang OY, Lee KH, Kim SJ, et al. Benign oligemia despite a malignant MRI profile in acute ischemic stroke[J]. J Clin Neurol, 2010, 6(1): 41-5.

[27] 娄 昕, 蔡幼铨, 马 林, 等. 动脉自旋标记法磁共振成像在颈动脉狭窄性脑缺血疾病中的初步应用[J]. 中国医学影像学杂志, 2007(2): 88-91.

(编辑:经 媛)